

Mejora de un diseño de más de 100 años. Nuevos conceptos en escaleras mecánicas

Jose M^a. Cabanellas Becerra⁽¹⁾, Juan D. Cano Moreno⁽²⁾, Berta Suárez⁽³⁾,
J.A.Chover⁽⁴⁾, Jesús Féliz⁽⁵⁾

*⁽¹⁾ Universidad Politécnica de Madrid
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.
Centro de Investigación de Tecnologías Ferroviarias
José Gutiérrez Abascal, 2 - 28006 Madrid*

*Teléfono: 91 336 31 15 - Fax: 91 336 32 12
jmcabanellas@etsii.upm.es*

Resumen

El presente trabajo persigue la mejora e innovación en el diseño de las escaleras mecánicas, cuya arquitectura básica lleva más de un siglo funcionando con tecnologías electromecánicas alcanzables por todos los fabricantes. Durante este tiempo, se han ido haciendo mejoras continuas en los diversos aspectos de las escaleras móviles aunque ningún sistema patentado posteriormente presenta ventajas claras frente al inicial. Cien años con una arquitectura funcionando sin cambios novedosos hace que este producto se esté convirtiendo en un "commodity".

El CITEF empleará herramientas que permitan simular y analizar el comportamiento estático, cinemático y dinámico de un sistema multicuerpo de este tipo. Se emplearán herramientas tales como MATLAB, CATIA y SIMPACK. Adicionalmente, se desarrollará un modelo de predicción de vida basado en los resultados dinámicos.

Palabras Clave: escalera mecánica, simulación, CATIA, SIMPACK, predicción de vida.

Abstract

This research achieves the improvements and innovations in the escalators design, whose basics components has been operating more than a century with electro-mechanics technologies reachables by any producer. Meantime, it has been developed several features although most of them have not had any clear advantage with the conventional device. Hundred years without important innovations suppose that this mechanism is converting in a "commodity" product.

CITEF is using methodologies that allow to simulate and to analyze the static, kinematical and dynamic behaviour of this multibody system. We have used MATLAB, CATIA and SIMPACK software. In addition, it will be developed a life prediction model based on dynamics results.

Keywords: escalators, simulation, CATIA, SIMPACK, life prediction.

1. Introducción

La historia de las escaleras mecánicas comenzó hace más de un siglo, con la aparición de las primeras patentes a finales del siglo XIX. La primera patente fue concedida en EEUU, en 1859, a Nathan Ames [1, 2, 6], por su escalera giratoria, que tenía forma de un triángulo equilátero como puede observarse en la figura 1.

En la última década de este siglo, Jesse Reno [2-4, 6] diseñó y patentó una rampa inclinada móvil con plataformas curvadas triangulares que se desplazaba de forma continua sobre una cinta transportadora que podía cambiar de sentido y que en cada escalón presentaba los típicos peines que podemos observar en las escaleras actuales.



Figura 1. Escalera de Nathan Ames (izqda.) y de Jesse Reno (dcha.)

Posteriormente otros inventores como G.A. Wheeler [2, 3, 5, 6], J.M. Dodge [6], Charles Seeberger [2, 6, 7] y otros fueron aportando mejoras a este sistema técnico, convergiendo rápidamente a los diseños actuales.

Las tendencias actuales de investigación de las escaleras mecánicas apuntan a la mejora de diversos aspectos como son el aumento del confort y de la seguridad, la reducción de costes, del tamaño y del número de piezas y dar una nueva imagen más tecnológica. Para conocer el grado de desarrollo técnico en el que se encuentra la escalera mecánica recurrimos a la curva de la S [8,9] que muestra la figura 2.



Figura 2. Curva de la S

En este momento, la escalera mecánica se encuentra en estado de madurez: aún puede mejorar su rendimiento, pero la estabilidad de su diseño con el paso de los años apunta a

que este producto acabará por convertirse en un “commodity”, sin llegar a la obsolescencia.

El objetivo de este centro de investigación consiste inferir mejoras en el sistema de escaleras mecánicas actual mediante el análisis estático, cinemático, dinámico y estructural a través de herramientas informáticas que permitan el modelado de este sistema mecánico. También se desarrollará un modelo de predicción de vida de la escalera basado en los resultados del modelo dinámico.

2. Herramientas de análisis

Para llevar a cabo nuestros objetivos emplearemos los siguientes modelos:

Modelo Cinemático. Se ha elegido como herramienta de simulación cinemática CATIA V5, donde se han diseñado las piezas en tres dimensiones, y posteriormente se han ensamblado, estableciendo juntas entre las diversas piezas, y definiendo el movimiento cinemático del conjunto mediante comandos o leyes.

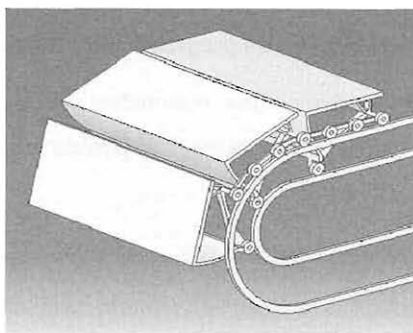


Figura 3. Modelo cinemático 3D

Modelo dinámico. Para abordar el estudio dinámico de las escaleras móviles se ha recurrido a un programa específico de simulación dinámica de mecanismos, SIMPACK. Para crear el modelo de las escaleras mecánicas es necesario descomponer este sistema en sus componentes básicos, tales como cuerpos, juntas y elementos de fuerza. Además de esto hay que determinar los distintos parámetros del modelo (masas, momentos de inercia, centros de gravedad, coeficientes de rigidez, coeficientes de amortiguamiento, coeficientes de rozamiento, etc).

Aún tratándose de un sistema mecánico convencional, la escalera mecánica presenta la dificultad de modelar una cadena con un elevado número de eslabones, puesto que

habría que definir, eslabón a eslabón, todos los contactos existentes entre eslabones y entre estos y las ruedas dentadas. Este problema se resuelve con un módulo de modelado y simulación específico para el estudio dinámico de cadena, denominado SIMPACK CHAIN que permite definir el comportamiento dinámico de la cadena.

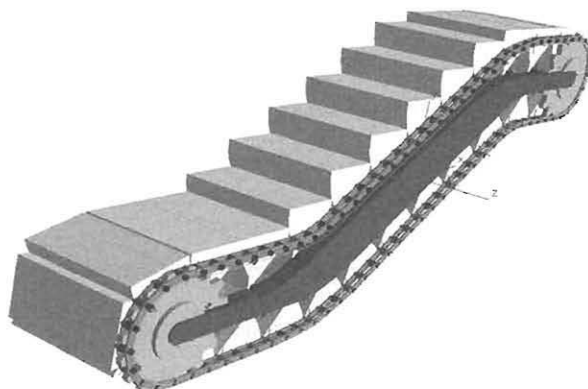


Figura 4. Modelo Dinámico de una escalera mecánica en SIMPACK

También se han realizado cálculos analíticos basados en la mecánica clásica, los cuales se han realizado mediante un lenguaje de programación matemático como es MATLAB. Estos cálculos permitirán confirmar los resultados de las simulaciones, así como analizar la importancia de la componente dinámica frente a la estática en el comportamiento de una escalera mecánica.

3. Experimental

Entre los objetivos del proyecto está construir un banco de ensayos en que un prototipo instrumentado proporciona medidas reales sobre las variables dinámicas de interés. Las medidas reales permitirán ajustar los modelos y dar fiabilidad a los resultados.

4. Resultados

En esta primera fase del proyecto se han recogido resultados de los distintos tipos de modelos de las escaleras tradicionales y de otros diseños realizados. Aunque por razones de confidencialidad con el promotor del proyecto no se muestran todos.

El modelo cinemático creado en CATIA permite analizar todas las velocidades y aceleraciones relativas entre los distintos cuerpos que forman el sistema mecánico, así como controlar las distancias e interferencias posibles entre todos los cuerpos que

forman el modelo. A modo de ejemplo se muestra a continuación la velocidad lineal relativa entre dos peldaños consecutivos a su paso por una zona de transición, y su distancia mínima.

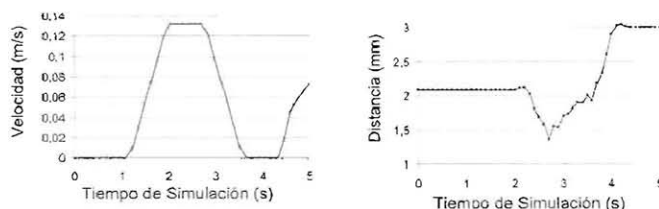


Figura 5. Velocidad relativa y Distancia mínima entre peldaños consecutivos en una zona de transición

Para medir las variables dinámicas empleamos SIMPACK. En la figura siguiente se muestra cómo varía el esfuerzo longitudinal de un eslabón para una velocidad lineal de la rueda motriz de 0.5m/s y una precarga en el tensor de la rueda dirigida de 3000 N.

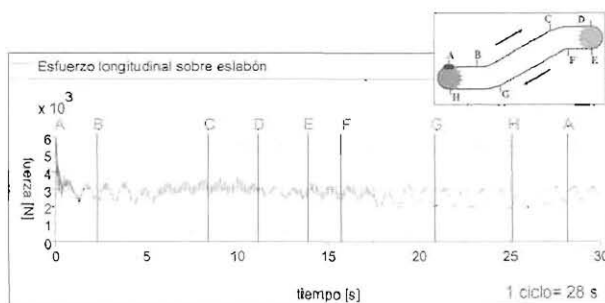


Figura 6. Tensión de un eslabón a lo largo de la cadena (SIMPACK)

Se puede observar que aparece un régimen transitorio, que dura aproximadamente dos segundos, debido al ajuste inicial de los distintos componentes de la cadena. Este hecho se puede observar también en el resto de gráficas, aunque no es importante puesto que se trata de un ejemplo de simulación y se puede despreciar.

Se aprecia también una frecuencia de oscilación que es de aproximadamente 1 Hz y corresponde con el paso del peldaño. Para esta simulación se ha considerado tanto el peso del peldaño en todo el recorrido de la cadena como el peso de los usuarios entre las zonas A y D. En la figura siguiente se muestra la reacción normal que se produce entre el rodillo y la guía. Diferenciando el rodillo que forma parte de la cadena (rodillo externo) y el rodillo que rueda libremente (rodillo interno).

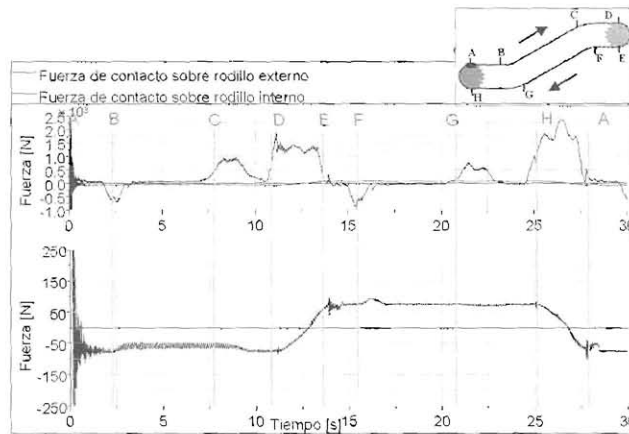


Figura 7. Fuerza de contacto sobre los rodillos interno y externo

A continuación se muestran algunos resultados de los cálculos analíticos. En la figura 8 (izqda.) se representa el perfil de velocidad lineal de un rodillo, supuesta una velocidad lineal constante e igual a 0.5 m/s en la zona horizontal inferior (después de G y antes de H). En esta gráfica de velocidades se observa la propagación a toda la cadena del efecto poligonalización típico de las transmisiones por cadenas. También se representan a la derecha las fuerzas que sufre un rodillo que pertenece a la cadena. Se han calculado las fuerzas de los eslabones que une cada rodillo (tensión en newtons de la cadena) y su reacción normal a la guía (en newtons). Por simplificación del modelo estático se han considerado contactos puntuales, aunque en la realidad el contacto entre el rodillo y la guía y entre el rodillo y las ruedas dentadas, es superficial y lo más correcto es definir una presión. Las tensiones, definidas también en newtons, deberían medirse en unidades de fuerza por unidad de área. Se ha supuesto una precarga de 3000 N en la zona inferior.

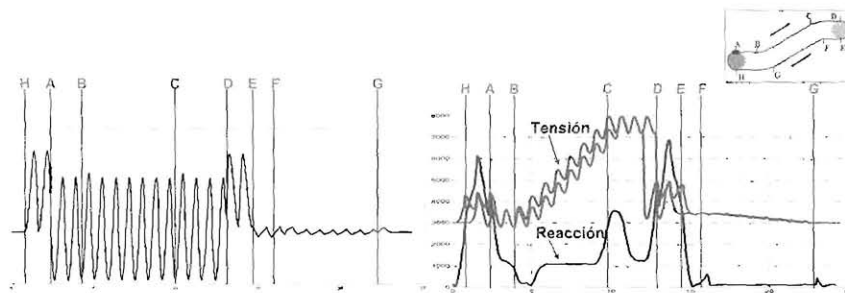


Figura 8. Perfil de Velocidad lineal de un rodillo (izqda.) y Reacciones y Tensiones de un rodillo perteneciente a la cadena (dcha.)

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos marcan la existencia de varias vías para la mejora del diseño de una escalera mecánica convencional, permitiéndonos las herramientas empleadas crear, simular y analizar las variables estáticas, cinemáticas y dinámicas de nuevos modelos. El ajuste del modelo con los datos reales del prototipo instrumentado servirá para el análisis de otros modelos sin necesidad de prototipos, el análisis de la sensibilidad de los diversos parámetros que definen una escalera mecánica, y su optimización para las distintas geometrías, sistemas de accionamiento y de tracción diseñados.

Adicionalmente, se tiene previsto crear un modelo de predicción de vida de las escaleras mecánicas basado en los resultados dinámicos obtenidos.

6. Referencias

1. N. Ames, *Revolving Stairways*, patente n°: 25076 (US) , (1859)
2. <http://www.theelevatormuseum.org>
3. A. Miravete y E. Larrodé, *Elevadores: Principios e innovaciones*, ed. Reverté, Barcelona, (2007)
4. J. W. Reno, *Improvements in Inclined Passenger Elevators or Lifts*, patente n°: GB189914813, (1899)
5. G.A.Wheeler, *Elevator*, patente n°: 479864(US), (1892)
6. D.A.Cooper, *Elevator World*, Vol. (47) (1999), 84-88, 90.
7. Charles D. Seeberger, *Aufzug mit endloser, spiralförmiger Transportbahn*, patente n°: AT2031B, (1900)
8. E. Rogers, *The Diffusion of Innovations*, The Free Press, (1962)
9. V. Mahajan, R.A. Peterson, *Models for Innovation Diffusion*, Sage Publications, (1985)